



⑯ Aktenzeichen: 197 21 298.0  
⑯ Anmeldetag: 21. 5. 97  
⑯ Offenlegungstag: 26. 11. 98

⑯ Anmelder:  
Mannesmann Sachs AG, 97424 Schweinfurt, DE  
⑯ Vertreter:  
H. Weickmann und Kollegen, 81679 München

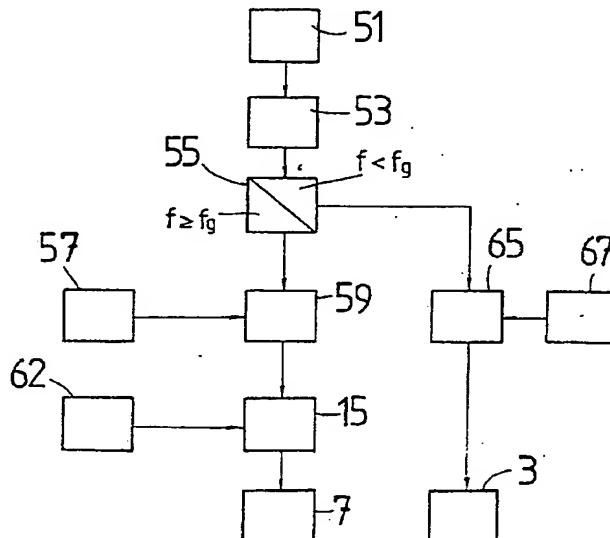
⑯ Erfinder:  
Lutz, Dieter, Dr., 97422 Schweinfurt, DE  
⑯ Entgegenhaltungen:  
DE 44 23 577 A1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Hybrid-Fahrantrieb für ein Kraftfahrzeug

⑯ Der Hybrid-Fahrantrieb für ein Kraftfahrzeug umfaßt einen Verbrennungsmotor und eine mit dem Verbrennungsmotor gekuppelte oder kuppelbare, als Generator oder/und als Motor betreibbare elektrische Maschine. Für die aktive Schwingungsdämpfung von Schwingungen, insbesondere Drehschwingungen im Drehmomentübertragungsweg zwischen dem Verbrennungsmotor und von diesem angetriebenen Rädern sind Regelungsmittel vorgesehen, die auf ein von einer Sollsignal-Vorgabeeinrichtung (57) vorgegebenes Sollsignal ansprechen. Die Regelungsmittel sprechen ferner auf Sensormittel (51) an, die eine Schwingungsinformation einer rotierenden Baukomponente des Kraftfahrzeugs enthaltendes Schwingungs-Istsignal liefern und steuern das von der elektrischen Maschine auf den Verbrennungsmotor ausgeübte Lastmoment im Sinne einer Minderung oder einer Eliminierung der Schwingungen der Baukomponente. Den Regelungsmitteln ist eine Einrichtung (53) zur Ermittlung eines Frequenzspektrums des Schwingungs-Istsignals zugeordnet, und die Sollsignal-Vorgabeeinrichtung (57) legt ein Sollsignal mit vorgegebenem Frequenzspektrum fest. Die Regelungsmittel steuern hierbei das Frequenzspektrum des von der elektrischen Maschine auf den Verbrennungsmotor ausgeübten Lastmoments im Sinne der Minderung oder Eliminierung spektraler Schwingungsüberhöhung des Schwingungs-Istsignals.



## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Hybrid-Fahrantrieb für ein Kraftfahrzeug.

Die Ungleichförmigkeit der Kurbelwellendrehung herkömmlicher Hubkolben-Verbrennungsmotore regt in dem das Drehmoment vom Verbrennungsmotor zu den Antriebsrädern eines Kraftfahrzeugs führenden Antriebsstrang Dreh- schwingungen an, die sich als Rüttelbewegungen oder zu- mindest als Geräusche unerwünscht bemerkbar machen. Derartige Drehschwingungen werden herkömmlich durch mechanische Drehschwingungsdämpfer, die zumeist in die Kupplungsscheibe einer Schaltkupplung des Antriebs- strangs integriert sind, gedämpft. Da die Drehschwingungen in dem Antriebsstrang innerhalb eines relativ großen Be- triebssdrehzahlbereich resonanzartig auftreten, haben herkömmliche Drehschwingungsdämpfer dieses Typs zumeist mehrere, für unterschiedliche Drehmomentbereiche bemes- sene Federstufen und Reibeinrichtungen. Die Drehschwin- gungsdämpfer sind damit vergleichsweise aufwendig und vielfach auch anfällig für Störungen.

Aus DE 32 30 607 C2 ist es bekannt, eine mit der Kurbel- welle der Brennkraftmaschine gekuppelte Anlaß-Lichtmaschine, also eine sowohl als Elektromotor als auch als Ge- nerator betreibbare elektrische Maschine zur aktiven Schwin- gungsdämpfung auszunutzen. Die beim Antrieb des Kraft- fahrzeugs durch den Verbrennungsmotor als Generator ar- beitende elektrische Maschine übt, während sie abhängig von ihrem Erregerstrom eine Batterie des Kraftfahrzeugs lädt, ein Lastdrehmoment auf den Verbrennungsmotor aus. Ein auf die Drehschwingungen, die der Rotation der Kurbel- welle überlagert sind, ansprechender Regelkreis steuert den Erregerstrom der elektrischen Maschine so, daß die Schwin- gungen auf einem vorbestimmten Sollwert geregelt werden. Die den Ist-Wert repräsentierende Führungsgröße dieses Re- gelkreises wird mittels eines Differenzierglieds aus der mit- tels eines Drehzahlsensors erfaßten Motordrehzahl gewon- nen.

Aus DE 40 15 701 und DE 43 23 601 sind Parallelhy- bridantriebe für ein Kraftfahrzeug bekannt, bei welchem die für den Fahrantrieb des Kraftfahrzeugs zusätzlich zum Ver- brennungsmotor bestimmte elektrische Maschine für eine aktive Schwingungsdämpfung mit ausgenutzt wird. Auch hier wird das von der elektrischen Maschine auf den Ver- brennungsmotor ausgeübte Lastdrehmoment im Sinne einer aktiven Schwingungsdämpfung von Drehschwingungen ausgenutzt. Allerdings hat sich gezeigt, daß das Dämpfungs- verhalten herkömmlicher aktiver Schwingungsdämpfer bis- her den mit mechanischen Schwingungsdämpfern erreich- ten Standard vielfach nicht erreicht.

Es ist Aufgabe der Erfindung, einen Hybrid-Fahrantrieb für ein Kraftfahrzeug anzugeben, der es erlaubt, im wesent- lichen unter Ausnutzung von Baukomponenten herkömmli- cher Hybrid-Fahrantriebe für eine hinreichend komfortable aktive Dämpfung von Schwingungen, insbesondere Dreh- schwingungen des Antriebsstrangs, zu sorgen.

Die Erfindung geht aus von einem Hybrid-Fahrantrieb für ein Kraftfahrzeug, umfassend einen Verbrennungsmotor für den Antrieb wenigstens eines Rads des Kraftfahrzeugs, eine mit dem Verbrennungsmotor gekuppelte oder kuppel- bare, als Generator oder/und als Motor betreibbare elektri- sche Maschine, Sensormittel, die eine Schwingungsinformation einer Baukomponente des Kraftfahrzeugs, insbesondere einer im Drehmomentübertragungsweg zwischen dem Ver- brennungsmotor und dem Rad angeordneten, rotierenden Bau- komponente enthaltendes Schwingungs-Istsignal liefern,

Regelungsmittel, die auf ein von einer Sollsignal-Vorgabe- einrichtung vorgegebenes Sollsignal ansprechen und abhängig von der Schwingungsinformation des Schwingungs-Ist- signals das von der elektrischen Maschine auf den Verbren- nungsmotor ausgeübte Lastmoment im Sinne einer Minde- rung oder einer Eliminierung der Schwingungen der Bau- komponente steuern.

Die erfindungsgemäße Verbesserung ist dadurch gekenn- zeichnet, daß den Regelungsmitteln eine Einrichtung zur Er- mittlung eines Frequenzspektrums des Schwingungs-Istsi- gnals zugeordnet ist und die Sollsignal-Vorgabeeinrichtung ein Sollsignal mit vorgegebenem Frequenzspektrum festlegt und daß die Regelungsmittel das Frequenzspektrum des von der elektrischen Maschine auf den Verbrennungsmotor aus- geübten Lastmoments im Sinne der Minderung oder Elimini- nierung spektraler Schwingungsüberhöhungen des Schwin- gungs-Istsignals steuern.

Die Erfindung geht von der Überlegung aus, daß die Un- gleichförmigkeit der Kurbelwellendrehung des Verbren- nungsmotors in aller Regel Schwingungen in dem Antriebs- strang oder der Karosserie des Kraftfahrzeugs anregt, die ein ganzes Spektrum von Schwingungen unterschiedlicher Frequenz umfassen. Den Regelungsmitteln ist eine Spek- tralanalyseeinrichtung zugeordnet, die die Frequenzanteile 25 nach Amplitude und Phase (oder in komplexer Darstellung nach Realteil und Imaginärteil) aus dem gemessenen Istsi- gnal ermittelt. Die Sollsignal-Vorgabeeinrichtung legt ihrer- seits das Sollsignal mit einem vorgegebenen Frequenzspek- trum fest und ermöglicht es so der Regelungseinrichtung, die Spektralanteile des Istsignals spezifisch zu dämpfen. Das von der elektrischen Maschine auf den Verbrennungsmotor ausgeübte Lastmoment wird also im Sinne der Minde- rung oder Eliminierung spektraler Schwingungsüberhöhungen des Schwingungs-Istsignals gesteuert. Insgesamt 35 wird auf diese Weise eine sehr rasch ansprechende, exakte Schwingungsdämpfung erreicht.

Bei den Sensormitteln kann es sich um Drehzahlsensoren oder Winkelgeschwindigkeitssensoren handeln, die die momentane Drehzahl oder Winkelgeschwindigkeit mit einer 40 solchen Genauigkeit erfassen, daß auch der mittleren Dreh- zahl überlagerte Drehschwingungen mit hinreichender Ge- nauigkeit erfaßt werden. Geeignet sind aber auch Sensoren, die nicht unmittelbar die Drehzahl oder die Winkelge- schwindigkeit rotierender Baukomponenten erfassen, son- 45 dern lediglich eine indirekte Messung von Schwingungen zulassen, wie zum Beispiel das Drehmoment erfassende Sensoren oder Sensoren, die auf Geräusche oder Vibrations- schwingungen ansprechen.

In dem Frequenzspektrum des Istsignals können auch 50 Spektralanteile enthalten sein, die sich aus einer Änderung der Betriebsdrehzahl des Antriebsstrangs beim Beschleuni- gen des Kraftfahrzeugs ergeben. Es hat sich gezeigt, daß die Frequenzen solcher Spektralanteile in Folge der begrenzten Leistungsfähigkeit des Verbrennungsmotors jedoch bei ver- 55 gleichsweise tiefen Frequenzen des Frequenzspektrums lie- gen, während die Spektralanteile der zu dämpfenden Dreh- schwingungen zumeist bei vergleichsweise hohen Frequen- zen zu finden sind. In einer bevorzugten Ausgestaltung ist deshalb vorgesehen, daß den Regelungsmitteln Frequenzbe- 60 grenzungsmittel zugeordnet sind, die das zur Steuerung des Lastmoments ausgenutzte Frequenzspektrum des Schwin- gungs-Istsignals auf Frequenzen oberhalb einer vorbe- stimmten Frequenzgrenze begrenzen. Die Frequenzbegren- zungsmittel haben mit anderen Worten Hochpaßcharakter 65 für die zur Steuerung des Lastmoments ausgenutzten Fre- quenzanteile. In dieser bevorzugten Ausgestaltung wird er- reicht, daß die Regelungsmittel zwar Schwingungen aktiv dämpfen können, das dynamische Verhalten des Hybridan-

triebs jedoch nicht negativ beeinflussen. Der Elektromotor kann auf diese Weise für die aktive Dämpfung von Dreh- schwingungen selbst dann ausgenutzt werden, wenn er als Motor betrieben den Verbrennungsmotor bei der Beschleu- nigung des Kraftfahrzeugs unterstützt. Die vorbestimmte Frequenzgrenze ist hierbei bevorzugt oberhalb der eine Drehzahländerung der rotierenden Baukomponente bei maximaler Antriebsbeschleunigung des Kraftfahrzeugs in dem Frequenzspektrum des Schwingungs-Istsignals repräsentie- renden Spektralfrequenz bilden.

Die Sollsignal-Vorgabeeinrichtung umfaßt bevorzugt einen Kennlinienspeicher, in welchem als Funktion eines Frequenzparameters Sollgrößen wenigstens einer Sollsignal-Kennlinie gespeichert sind. Solche Kennlinien können für das Kraftfahrzeug empirisch ermittelt werden; die Kennlinien können aber auch in an sich bekannter Weise im Be- trieb des Kraftfahrzeugs adaptiv in einem Lernprozeß korri- giert werden. Zweckmäßigerweise geben die Sollsignal-Kennlinien nur spektrale Maximalwerte der Sollgrößen an, die im aktiven Dämpfungsbetrieb nicht überschritten wer- den sollen. Dies ermöglicht eine Regelung nach Art einer Kennfeldregelung, wie sie für die Steuerung von Verbren- nungsmotoren an sich bekannt ist. Die Regelungsmittel überprüfen hierbei, ob das Frequenzspektrum der Istsignale insgesamt die spektralen Maximalwerte des Sollsignals nicht überschreiten und greifen bei Überschreitung spektraler Anteile gezielt in diesen Frequenzbereichen verstärkt dämpfend ein.

Der Kennlinienspeicher kann mehrere Kennlinien als Funktion weiterer Betriebsparameter des Kraftfahrzeugs speichern, um dem Umstand Rechnung zu tragen, daß das Schwingungsverhalten bei unterschiedlichen Betriebssitu- ationen unterschiedliche Dämpfungsmaßnahmen bedingen können. Bevorzugt enthält der Kennlinienspeicher Kennli- nien als Funktion wenigstens einer der folgenden Betriebs- parameter:

- a) Drehmoment des Verbrennungsmotors,
- b) Drehzahl des Verbrennungsmotors,
- c) Fahrgeschwindigkeit des Kraftfahrzeugs,
- d) Temperatur des Verbrennungsmotors,
- e) momentanes Übersetzungsverhältnis eines im Drehmomentübertragungsweg angeordneten, varia- blen Getriebes,
- f) Gewicht des Kraftfahrzeugs,
- g) Schub- oder Zugbetrieb (Vorzeichen des Drehmo- ments).

Den Regelungsmitteln sind hierbei Sensoren zugeordnet, die auf Änderungen dieser Betriebsparameter ansprechen und den Regelungsmitteln die Auswahl der Kennlinie ab- hängig von der Größe dieser Betriebsparameter ermögli- chen.

Die elektrische Maschine muß hinsichtlich ihres Drehmo- mentverhaltens so bemessen sein, daß sie in der Lage ist, das von dem Verbrennungsmotor im Fahrbetrieb sowohl bei gleichbleibender Fahrgeschwindigkeit als auch bei Be- schleunigung erzeugte Drehmoment für die aktive Schwin- gungsdämpfung sowohl zu verstärken als auch abzuschwä- chen. Die elektrische Maschine wird für den Motorbetrieb in aller Regel dem Drehmoment und der Leistung des Verbren- nungsmotors entsprechende Moment- und Leistungsdaten haben. Andererseits muß die elektrische Maschine, wenn sie auf Treiberströme oder Erregerströme eines vergleichsweise großen Frequenzspektrums ansprechen soll, eine vergleichs- weise große Anzahl Pole und entsprechende Polwicklungen haben, um sie mit Treiber- oder Erregerströmen hinreichend unterschiedlicher Frequenz betreiben zu können. In einer

bevorzugten Ausgestaltung ist deshalb vorgesehen, daß die elektrische Maschine eine Vielzahl Pole umfaßt und die Re- gelungsmittel eine Stromstelleinrichtung für Polwicklungen der elektrischen Maschine steuern.

5 Abhängig von der Betriebssituation können Schwingun- gen in unterschiedlichen Baukomponenten angeregt werden. Bevorzugt umfassen deshalb die Sensormittel mehrere Sensoren, die auf unterschiedliche Schwingungsparameter oder/und Schwingungen unterschiedlicher Baukomponen- 10 ten ansprechen. Die Regelungsmittel können jeweils so aus- gebildet sein, daß sie die Signale mehrerer Sensoren gleich- zeitig auswerten. Auch kann vorgesehen sein, daß die Sen- soren abhängig von der Betriebssituation des Kraftfahrzeugs 15 für die Erzeugung der Istsignale ausgewählt werden, da bei- spielsweise im Leerlaufbetrieb andere Baukomponenten zu Schwingungen angeregt werden, als dies beispielsweise bei Vollastbetrieb während der Fahrt der Fall ist.

Bevorzugt ist vorgesehen, daß in Drehwinkelphasen, in 20 welchen die elektrische Maschine bei der aktiven Dreh- schwingungsdämpfung Energie aus dem Verbrennungsmotor aufnimmt, diese Energie in einen elektrischen Antriebs- energiespeicher rückspeist. Bei diesem elektrischen An- triebssenergiespeicher könnte es sich um eine herkömmliche Fahrstrombatterie handeln, die die elektrische Energie auf- 25 grund eines chemischen Prozesses speichert. Es hat sich al- lerdings erwiesen, daß diese Art eines Antriebsenergiespei- chers die Rückgewinnung elektrischer Energie nur mit ver- gleichsweise schlechtem Wirkungsgrad erlaubt, da der che- 30 mische Energiespeicherungsprozeß vergleichsweise lang- sam abläuft und Energieanteile höherer Spektralfrequenzen nicht aufzunehmen vermag. In einer bevorzugten Ausgestal- tung ist deshalb vorgesehen, daß die elektrische Maschine an eine Fahrstrom liefernde Batterie und zusätzlich an einen elektrischen Antriebsenergiespeicher für den im Betrieb der 35 Regelungsmittel bei der Schwingungsdämpfung an die elek- trische Maschine zu liefernden oder/und von dieser rückzu- speisenden, höherfrequenten elektrischen Strom ange- schlossen ist. Als Fahrstrom liefernde Batterie kann damit eine herkömmlich die elektrische Energie aufgrund chemi- 40 scher Prozesse speichernde Batterie (Akkumulator) ausge- bildet sein, während es sich bei dem hochfrequente Strom- speicherung ermöglichen Antriebsenergiespeicher bevorzugt um einen Kondensatorsspeicher handelt, der dann 45 für die aktive Schwingungsdämpfung erforderliche Be- triebssnergie liefert.

Wie vorangegangen erläutert, sind die Regelungsmittel, durch welche eine aktive Schwingungsdämpfung erreicht wird, zweckmäßigerweise nur bei Spektralanteilen mit einer Frequenz oberhalb einer vorbestimmten Frequenzgrenze 50 wirksam. Unterhalb dieser Frequenzgrenze wird die elek- trische Maschine über eine Fahrsteuerung oder dergleichen in der für Parallelhybridantriebe üblichen Weise drehmoment- geregelt und nicht für die aktive Schwingungsdämpfung ausgenutzt. Um dennoch auch in diesem Betriebsfall 55 Schwingungen dämpfen zu können, deren Schwingungsfre- quenz unterhalb der vorbestimmten Frequenzgrenze liegt, ist in einer bevorzugten Ausgestaltung in dem Drehmoment- übertragungsweg eine steuerbare Kupplung vorgesehen, die abhängig von den Spektralanteilen des Schwingungs-Istsi- gnals mit Frequenzen unterhalb der vorbestimmten Fre- 60 quenzgrenze auf einen der Spektralanteile der Schwingun- gen mindernden oder eliminierenden Schluß einstellbar ist. Bei der steuerbaren Kupplung handelt es sich zweckmäßi- gerweise um eine von einem Stellantrieb einstellbare Rei- 65 bungskupplung, die beispielsweise zwischen dem Verbren- nungsmotor und der elektrischen Maschine in dem An- triebssstrang angeordnet sein kann.

Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung

anhand einer Zeichnung näher erläutert. Hierbei zeigt:

**Fig. 1** eine schematische Darstellung eines Hybrid-Fahr-  
antriebs für ein Kraftfahrzeug;

**Fig. 2** ein Blockschaltbild eines aktiven Dämpfungssy-  
stems des Hybrid-Fahrantriebs;

**Fig. 3a und 3b** Frequenzspektren zur Erläuterung der Wir-  
kungsweise des aktiven Dämpfungssystems.

**Fig. 1** zeigt einen Parallelhybrid-Fahrantrieb für ein Kraftfahrzeug mit einem Verbrennungsmotor 1, der über eine von einem elektrischen Stellantrieb 3 betätigbare Reibungskupplung 5 mit einer sowohl als Generator als auch als Elektromotor betreibbaren elektrischen Maschine 7 gekuppelt ist. Die elektrische Maschine 7 ist ihrerseits über ein Schaltgetriebe 9, bei welchem es sich um ein automatisches Getriebe oder um ein automatisiertes Stufengetriebe, aber auch um ein manuell zu schaltendes Stufengetriebe handeln kann, mit einem Antriebsräder 11 des Kraftfahrzeugs treibenden Differentialgetriebe 13 verbunden. Bei geschlossener Kupplung 5 steht der Verbrennungsmotor 1 über die Kupplung 5, das Getriebe 9 und das Differentialgetriebe 13 in Drehmomentübertragender Antriebsverbindung mit den Rädern 11. Die elektrische Maschine 7 ist im dargestellten Ausführungsbeispiel drehfest mit der Eingangswelle des Getriebes 9 gekuppelt und ist bei geschlossener Kupplung 5 auch mit der Kurbelwelle des Verbrennungsmotors 1 drehfest verbunden.

Die elektrische Maschine 7 ist über eine Stromstelleinrichtung 15 mit einer Fahrstrombatterie 17 verbunden, aus der sie im Motorbetrieb mit Strom versorgt wird, bzw. in die sie im Generatorbetrieb erzeugten Strom rückspeist. Bei der Fahrstrombatterie 17 kann es sich um eine die elektrische Energie aufgrund von chemischen Prozessen speichernde Batterie bzw. einen Akkumulator handeln. Die Stromstelleinrichtung 15 sorgt für die Kommutierung sowie gegebenenfalls Gleichrichtung sowie den geeigneten Phasenversatz der vielphasigen Treiberströme der elektrischen Maschine 7. Durch Variation der Frequenz der Treiberströme läßt sich die Drehzahl der elektrischen Maschine 7 variieren. Die Steuerung sowohl der Kommutierungsrate als auch des von der elektrischen Maschine 7 im Motorbetrieb erzeugten Drehmoments wie auch die Ladeleistung der elektrischen Maschine bei Generatorbetrieb wird von einer Steuerung 19 bestimmt, die auch über einen Stellantrieb 21 ein Leistungseinstellglied 23 des Verbrennungsmotors 1, beispielsweise eine Drosselklappe oder eine Einspritzvorrichtung, steuert. Die Steuerung 19 spricht auf ein vom Fahrer des Kraftfahrzeugs zu betätigendes Fahrrpedal 25 an, dessen Auslenkung sie mittels eines Positionssensors 27 erfaßt.

Der Steuerung 19 sind ferner eine Vielzahl Sensoren zugeordnet, die auf Betriebsparameter des Kraftfahrzeugs ansprechen. Hierzu gehören eine Vielzahl Drehzahlensensoren, wie zum Beispiel ein die Drehzahl des Verbrennungsmotors 1 erfassender Drehzahlsensor 29, ein die Eingangsdrehzahl des Getriebes 9 und damit die Drehzahl der elektrischen Maschine 7 erfassender Drehzahlsensor 31, ein die Ausgangsdrehzahl des Getriebes 9 erfassender Drehzahlsensor 33, und zusätzlich oder alternativ zu dem Drehzahlsensor 33 ein die Raddrehzahl erfassender Drehzahlsensor 35. Die Drehzahlsensoren 33, 35 liefern die Fahrgeschwindigkeit repräsentierende Signale. Ferner ist ein das Drehmoment des Verbrennungsmotors 1 erfassender Momentensensor 37 vorgesehen. Dieser Sensor ist zweckmäßigerverweise im Bereich der Kupplung 5 vorgesehen, da er sich hier problemlos durch drehelastische Komponenten realisieren läßt. Mittels eines Sensors 39 wird die Getriebeeinstellung des Getriebes 9 und damit dessen momentanes Übersetzungsverhältnis erfaßt. Gegebenenfalls kann zur Erfassung von Bauteilschwingungen für das nachfolgend noch näher erläuterte aktive

Schwingungsdämpfungssystem ein Geräuschsensor 41 beispielsweise an dem Gehäuse des Getriebes 9 vorgesehen sein. Mittels eines Temperatursensors 43 kann die Betriebstemperatur des Verbrennungsmotors 1 erfaßt werden, und mittels eines beispielsweise in die Achsfederung der Räder 11 integrierten Kraftsensors 45 kann auf das Fahrzeuggewicht geschlossen werden. Abhängig von den Signalen dieser Sensoren steuert die Steuerung 19, bei der es sich um eine Mikroprozessorsteuerung handeln kann, einerseits die Drehzahl und Momentenanforderung des Verbrennungsmotors 1, die Drehzahl und Momentenanforderung an die im Motorbetrieb betriebene elektrische Maschine 7 oder im Generatorbetrieb die Ladeleistung der elektrischen Maschine 7, und sie steuert über Stellglieder 47 gegebenenfalls das automatische oder automatisierte Getriebe 9. Daten und Algorithmen, die den Betrieb des Verbrennungsmotors 1, der elektrischen Maschine 7 und des Getriebes 9 abhängig von der Fahrsituation aufeinander abstimmen, sind in einem der Steuerung 19 zugeordneten Speicher 49 gespeichert.

Der Betrieb eines derartigen Parallelhybrid-Fahrantriebs läßt sich in unterschiedlicher Weise steuern. In einer bevorzugten Variante wird zum Anfahren des Kraftfahrzeugs aus dem Stillstand ausschließlich die elektrische Maschine 7 benutzt. Im übrigen liefert jedoch der Verbrennungsmotor 1 die Grundleistung für den Fahrbetrieb, und die elektrische Maschine 7 wird lediglich zum Decken des Spitzenbedarfs an Leistung herangezogen. Soweit der Verbrennungsmotor 1 mehr Leistung liefert als für den Antrieb des Kraftfahrzeugs benötigt, arbeitet die elektrische Maschine 7 im Generatorbetrieb und lädt die Batterie 17. Solange die elektrische Maschine 7 alleine für den Antrieb des Kraftfahrzeugs sorgt, ist die Kupplung 5 geöffnet. Es versteht sich, daß auch andere Antriebsstrategien einsetzbar sind, beispielsweise indem die elektrische Maschine 7 bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten für den Antrieb des Kraftfahrzeugs sorgt und der Verbrennungsmotor 1 den Antrieb bei hohen Fahrgeschwindigkeiten alleine leistet. Insbesondere mit dem letztgenannten Konzept lassen sich hohe Fahrgeschwindigkeiten erreichen.

Die Steuerung 19 umfaßt Regelungsmittel, die mit Hilfe der elektrischen Maschine 7 eine aktive Schwingungsdämpfung der von der Ungleichförmigkeit der Kurbelwellendrehung des Verbrennungsmotors 1 hervorgerufene Schwingungen, insbesondere Drehschwingungen im Drehmomentübertragungsweg zwischen dem Verbrennungsmotor 1 und den Rädern 11 verringern oder eliminieren. Hierzu wird die elektrische Maschine 7 insbesondere im Motorbetrieb, gegebenenfalls aber auch während ihres Generatorbetriebs im Verlauf einer  $360^\circ$  Drehung phasengerecht so gesteuert, daß das von der elektrischen Maschine 7 auf die Kurbelwelle des Verbrennungsmotors 1 bzw. den damit gekuppelten Drehmomentübertragungsweg ausgeübte Drehmoment der Ungleichförmigkeit der Drehbewegung, d. h. der momentanen Beschleunigung oder momentanen Verzögerung ungleichförmig rotierender Baukomponenten dämpfend entgegenwirkt. **Fig. 2** zeigt ein schematisches Blockschaltbild der Steuerung 19 in dem für die aktive Dämpfung relevanten Umfang. Mit 51 sind Sensormittel bezeichnet, die eine Schwingungsinformation einer Baukomponente des Kraftfahrzeugs nach Betrag und Phase enthaltendes Schwingungs-Istsignal liefern. Bei den Sensormitteln 51 kann es sich um hochauflösende, also die momentane Winkelgeschwindigkeit über den vollen Drehwinkelbereich von  $360^\circ$  liefernde Drehzahlsensoren, wie zum Beispiel die Drehzahlsensoren 29, 31, 33 oder 35 aus **Fig. 1** handeln. Eine momentane Schwingungsinformation nach Betrag und Phase können aber auch der Drehmomentsensor 37 oder der Geräuschsensor 41 liefern. Wie nachfolgend noch deutlich

werden wird, erlaubt das Konzept der Erfindung eine Schwingungsdämpfung auch dann, wenn nicht die Ursache der Schwingung, nämlich die Ungleichförmigkeit der Kurbelwellendrehung des Verbrennungsmotors 1 direkt erfaßt wird, sondern indirekt die Wirkung dieser Ungleichförmigkeit, d. h. die Geräuscherzeugung oder die Rüttelbewegung einer anderen Baukomponente des Kraftfahrzeugs als Führungsgröße der Regelungsmittel ermittelt wird. Dies erlaubt eine fahrsituationsabhängige Auswahl geeigneter Sensoren. Auch können auf diese Weise andere Geräuschquellen, beispielsweise während der Fahrt über die Radachsen in den Drehmomentübertragungsweg eingeführte Ungleichförmigkeiten gezielt erfaßt und gedämpft werden.

Die Regelungsmittel umfassen eine Einrichtung 53 zur Ermittlung eines Frequenzspektrums des von den Sensormitteln 51 gelieferten Schwingungs-Istssignals, d. h. eines Frequenzspektrums der Schwingungsinformation nach Betrag und Phase. Diese Spektralanalysemittel 53 können aus einer Vielzahl selektiver, jedoch auf unterschiedliche Frequenzen abgestimmten Filtern aufgebaut sein. Bevorzugt sind diese Frequenzanalysemittel 53 jedoch durch eine Fourier-Transformationsrechenschaltung gebildet. Die Rechenschaltung kann je nach Art der von den Sensormitteln gelieferten Signale digital oder auch analog arbeiten, beispielsweise nach dem Prinzip einer "Fast-Fourier-Transformation". Die Analysemittel 53 liefern abhängig von der Frequenz, beispielsweise in diskreten Frequenzschritten, den Betrag und die Phase der in dem Schwingungs-Istsignal enthaltenen Spektralanteile.

Nicht sämtliche Spektralanteile im Ausgangssignal der Analysemittel 53 sind auf unerwünschte und damit zu dämpfende Schwingungen zurückzuführen. Spektralanteile entstehen auch bei gewollten Drehzahländerungen im Drehmomentübertragungsweg, beispielsweise beim Beschleunigen des Kraftfahrzeugs. Um der Beschleunigung des Kraftfahrzeugs nicht dämpfend entgegenzuwirken, sind Frequenzbegrenzungsmittel, hier in Form einer Frequenzweiche 55, vorgesehen, die nach Art eines Hochpasses für die aktive Schwingungsdämpfung ausschließlich Spektralanteile durchlassen, deren Spektralfrequenz  $f$  gleich oder größer als eine Grenzfrequenz  $f_g$  ist. Die Grenzfrequenz  $f_g$  ist so gewählt, daß sie oberhalb der Frequenzen der bei maximaler Beschleunigung des Kraftfahrzeugs auftretenden, relevanten Spektralanteile liegt. Es hat sich gezeigt, daß derartige Spektralanteile für hybridgetriebene Kraftfahrzeuge bei vergleichsweise niedrigen Frequenzen liegen, so daß die Grenzfrequenz  $f_g$  nahe oder zumeist auch unterhalb der unteren Hörgrenze, beispielsweise bei 20 Hz, gewählt werden kann. Auf diese Weise können im Hörbereich auftretende Schwingungen und Geräusche gedämpft werden, ohne daß dies auf Kosten der Dynamik des Antriebs geht.

Abhängig von dem aus der Frequenzweiche 55 zugeführten Istspektrum und einem von einer Sollsignal-Vorgabeeinrichtung 57 gelieferten Sollsignalspektrum erzeugt ein Regler 59, der gleichfalls durch Hardware oder Software realisiert sein kann, Stellinformationen, die über nicht näher dargestellte Treiberschaltungen die Stromstellerschaltung 15 und damit das von der elektrischen Maschine 7 auf den Verbrennungsmotor 1 momentan ausgeübte Lastdrehmomenteinstellen. Die Sollsignal-Vorgabeeinrichtung 57 umfaßt einen Kennlinienspeicher, der Bestandteil des Speichers 49 (Fig. 1) sein kann und der als Funktion der Frequenz  $f$  Sollgrößen in Form wenigstens einer Kennlinie, insbesondere jedoch in Form eines von nachfolgend noch näher erläuterten, weiteren Parametern abhängigen Kennlinienfelds speichert. Diese beispielsweise empirisch in Fahrversuchen ermittelten Sollgrößen stellen spektrale Maximalwerte für die zu mindernden oder zu eliminierenden Spektralwerte

des Schwingungs-Istssignals dar. Der Regler 59 vergleicht die Spektralwerte des Istssignals nach Betrag und Phase mit den durch die Sollgrößen festgelegten spektralen Maximalwerten und liefert Stellinformationen an die Stromstellerschaltung 15, die die Schwingung mindern. Fig. 3a zeigt in einem Beispiel den Betrag eines Drehzahl-Istspektrums  $n_i$ , das oberhalb der Grenzfrequenz  $f_g$  Spektralanteile bei den Frequenzen  $f_0$  und  $f_1$  hat. Fig. 3b zeigt die spektrale Verteilung des Betrags der Sollgröße  $K_i$  einer Kennlinie 61. Die Kennlinie 61 bestimmt die spektrale Verteilung, mit der über die Stromstellereinrichtung 15 die elektrische Maschine abhängig von der Frequenz zu erregen ist. Bei den Frequenzen  $f_0$  und  $f_1$  wird durch eine phasenrichtig vorzugebende Beitragskorrektur der Treiber- bzw. Erregerströme der elektrischen Maschine sichergestellt, daß den Resonanzüberhöungen des Istssignals bei diesen Frequenzen dämpfend entgegengewirkt wird. Im Prinzip genügt es, wenn durch dieses Regelkonzept die Schwingung unter den durch die Sollgrößen vorgegebenen Maximalwerten gedämpft werden kann. Im Einzelfall können jedoch auch andere Regelkonzepte überlagert sein. Derartige Regelkonzepte sind bekannt, beispielsweise aus der Kennfeldregelung von Verbrennungsmotoren.

Die Auswahl der für die aktive Schwingungsdämpfung heranzuhaltenden Kennlinien der Sollgrößen kann abhängig von weiteren Betriebsparametern des Kraftfahrzeugs erfolgen. Geeignet sind insbesondere folgende Betriebsparameter, die jeweils einzeln oder aber auch in Gruppen für die Auswahl der Kennlinie herangezogen werden können:

- 30 a) Drehmoment des Verbrennungsmotors 1, wie es beispielsweise mit dem Drehmomentsensor 37 (Fig. 1) erfaßt werden kann;
- 35 b) Drehzahl des Verbrennungsmotors, beispielsweise erfaßt mittels des Drehzahlsensors 29;
- 40 c) Fahrgeschwindigkeit des Kraftfahrzeugs, beispielsweise erfaßt mittels der Drehzahlsensoren 33 oder 35;
- 45 d) Temperatur des Verbrennungsmotors 1, beispielsweise erfaßt mittels des Temperatursensors 43;
- 50 e) momentanes Übersetzungsverhältnis des Getriebes 9, wie es beispielsweise mittels des Getriebestellungs-sensors 39 erfaßt wird oder aber aus den Stellsignalen des Stellantriebs 47 des Getriebes 9 ableitbar ist;
- 55 f) Gewicht des Kraftfahrzeugs, beispielsweise erfaßt mittels des Gewichtssensors 45 und
- 60 g) Schub- oder Zugbetrieb des Kraftfahrzeugs, wie er aus dem Vorzeichen des Drehmomentsignals des Drehmomentsensors 37 ermittelbar ist.

Die vorstehend erläuterten Sensoren und Stellantriebe sind zumindest teilweise ohnehin für die Steuerung des Hybridantriebs erforderlich. Insoweit läßt sich die vorstehend erläuterte aktive Schwingungsdämpfung mit weitgehend vorhandenen Komponenten des Kraftfahrzeugs softwaremäßig realisieren. Bei 62 ist durch einen Funktionsblock die gleichfalls auf die Stromstellerschaltung 15 einwirkende Fahrsteuerung angedeutet, die abhängig von der Position des Fahrpedals 25 und den mittels der vorstehend erläuterten Sensoren die elektrische Maschine 7, wie eingangs erläutert, allein, zum Beispiel beim Anfahren, oder zusätzlich zum Verbrennungsmotor 1 drehmomentunterstützend steuert. Über die Fahrsteuerung 62 wird in an sich bekannter Weise auch der Generatorbetrieb der elektrischen Maschine 7 gesteuert oder auch Betriebsphasen, in welchen der Verbrennungsmotor 1 ohne Unterstützung durch die elektrische Maschine 7 allein für das Antriebsdrehmoment der Räder 11 sorgt.

Für einen hohen Wirkungsgrad des Hybridantriebs und

einen niedrigen Kraftstoffverbrauch des Verbrennungsmotors 1 wird für eine Rückgewinnung der Bewegungsenergie des Kraftfahrzeugs durch elektrisches Bremsen mittels der dann generatorisch betriebenen elektrischen Maschine 7 gesorgt. Die elektrische Maschine 7 lädt hierbei über die Stromstellerschaltung 15 die Batterie 17. Bremsenergie wird jedoch nicht nur im Bremsbetrieb des Kraftfahrzeugs frei, sondern auch bei der momentanen Verzögerung des Verbrennungsmotors 1 während des aktiven Dämpfungsbe- 5  
triebs. Die Spektralanteile des beim aktiven Dämpfungsbe- 10  
trieb rückgewinnbaren Stroms liegen jedoch so hoch, daß sie in einer der elektrische Energie aufgrund chemischer Prozesse speichernden Batterie nur mit sehr schlechtem Wirkungsgrad gespeichert werden können. Der Batterie 17 ist deshalb eine auch zur Speicherung höherfrequenter Ströme geeignete Batterie 63, beispielsweise in Form einer Kondensatorbatterie, parallelgeschaltet, aus der die elektrische Maschine 7 die zur aktiven Dämpfung benötigte elektrische Energie bezieht bzw. rückspeichert. Während die Fahrsteuerung 62 (Fig. 2) die Stromstellerschaltung 15 mit Strom aus der Batterie 17 versorgt, liefert die Batterie 63 15  
den von dem Regler 59 bestimmten Strom.

Für Spektralanteile, deren Frequenz  $f$  kleiner als die Grenzfrequenz  $f_g$  ist, sind die Regelungsmittel unwirksam. Diese Spektralanteile, wie sie in Fig. 3a durch eine gestrichelte Kurve angedeutet sind, werden jedoch für andere Regelkonzepte ausgenutzt. Im Fall des Ausführungsbeispiels liefern Spektralanteile des Istsignals unterhalb der Grenzfrequenz  $f_g$  eine Istinformation für eine Schlupfregelung (oder Schlupfsteuerung), bei der die Reibungskupplung 5 zur Drehschwingungsminderung oder Eliminierung auf einen vorbestimmten, geringen Schlupf eingestellt wird. Wie Fig. 2 zeigt, steuert ein weiterer Regler 65 abhängig von der Istinformation und abhängig von einer bei 67 vorgegebenen Sollgröße den Stellantrieb 3 der Kupplung. Auch hier kann die Sollgröße einen vorbestimmten spektralen Maximalwert repräsentieren. Es können aber auch andere Schlupfregelkonzepte beispielsweise abhängig von der Größe des zu übertragenden Drehmoments der Schwingungsamplitude oder dergleichen realisiert sein. Üblicherweise genügt ein Schlupf von einigen wenigen Prozent der Eingangsdrehzahl der Kupplung, um Drehschwingungen mit Spektralanteilen oberhalb der Grenzfrequenz hinreichend zu dämpfen.

Die Dämpfungseigenschaften des aktiven Schwingungs-dämpfungssystems können mechanische Schwingungs-dämpfungssysteme vollständig ersetzen.

Es versteht sich, daß das vorstehend erläuterte aktive Schwingungs-dämpfungssystem auch bei anderen Hybridantrieben eingesetzt werden kann. Insbesondere kann auch zwischen der elektrischen Maschine und dem Getriebe eine weitere steuerbare Kupplung angeordnet sein, oder aber die elektrische Maschine kann ohne zusätzliche Kupplung direkt mit der Kurbelwelle des Verbrennungsmotors gekuppelt sein.

#### Patentansprüche

##### 1. Hybrid-Fahrantrieb für ein Kraftfahrzeug, umfassend

- einen Verbrennungsmotor (1) für den Antrieb 60  
wenigstens eines Rads (11) des Kraftfahrzeugs,
- eine mit dem Verbrennungsmotor (1) gekup-  
pelte oder kuppelbare, als Generator oder/und als 65  
Motor betreibbare elektrische Maschine (7),
- Sensormittel (29-37, 41; 51), die ein eine  
Schwingungsinformation einer Baukomponente  
des Kraftfahrzeugs, insbesondere einer im Dreh-  
momentübertragungsweg zwischen dem Verbren-

nungsmotor (1) und dem Rad (11) angeordneten, rotierenden Baukomponente enthaltendes Schwingungs-Istsignal liefern,

- Regelungsmittel (19, 49, 53-59), die auf ein von einer Sollsignal-Vorgabeeinrichtung vorgegebenes Sollsignal ansprechen und abhängig von der Schwingungsinformation des Schwingungs-Istsignals das von der elektrischen Maschine (7) auf den Verbrennungsmotor (1) ausgeübte Lastmoment im Sinne einer Minderung oder einer Eliminierung der Schwingungen der Baukomponente steuern,

dadurch gekennzeichnet, daß den Regelungsmitteln (19, 49, 53-59) eine Einrichtung (53) zur Ermittlung eines Frequenzspektrums des Schwingungs-Istsignals zugeordnet ist und die Sollsignal-Vorgabeeinrichtung (57) ein Sollsignal mit vorgegebenem Frequenzspektrum festlegt, und daß die Regelungsmittel (19, 49, 53-59) das Frequenzspektrum des von der elektrischen Maschine (7) auf den Verbrennungsmotor (1) ausgeübten Lastmoments im Sinne der Minderung oder Eliminierung spektraler Schwingungsüberhöhungen des Schwingungs-Istsignals steuern.

2. Hybrid-Fahrantrieb nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß den Regelungsmitteln (19, 49; 53-59) Frequenzbegrenzungsmittel (53) zugeordnet sind, die das zur Steuerung des Lastmoments ausgenutzte Frequenzspektrum des Schwingungs-Istsignals auf Frequenzen oberhalb einer vorbestimmten Frequenzgrenze begrenzen.

3. Hybrid-Fahrantrieb nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die vorbestimmte Frequenzgrenze oberhalb der eine Drehzahländerung der rotierenden Baukomponente bei maximaler Antriebsbeschleunigung des Kraftfahrzeugs in dem Frequenzspektrum des Schwingungs-Istsignals repräsentierenden Spektralfrequenz bemessen ist.

4. Hybrid-Fahrantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Sollsignal-Vorgabeeinrichtung (57) einen Kennlinienspeicher (49) umfaßt, in welchem als Funktion eines Frequenzparameters Sollgrößen wenigstens einer Sollsignal-Kennlinie gespeichert sind.

5. Hybrid-Fahrantrieb nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnete daß die Sollgrößen spektrale Maximalwerte für von den Regelungsmitteln (19, 49, 53-59) zu mindernden oder zu eliminierenden Spektralwerte des Schwingungs-Istsignals bilden.

6. Hybrid-Fahrantrieb nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Kennlinienspeicher (49) mehrere Kennlinien als Funktion weiterer Betriebsparameter des Kraftfahrzeugs speichert, insbesondere als Funktion wenigstens eines der Betriebsparameter:

- a) Drehmoment des Verbrennungsmotors (1),
- b) Drehzahl des Verbrennungsmotors (1),
- c) Fahrgeschwindigkeit des Kraftfahrzeugs,
- d) Temperatur des Verbrennungsmotors (1),
- e) momentanes Übersetzungsverhältnis eines im Drehmomentübertragungsweg angeordneten, variablen Getriebes (9),
- f) Gewicht des Kraftfahrzeugs,
- g) Schub- oder Zugbetrieb (Vorzeichen des Drehmoments)

und daß die Regelungsmittel die Kennlinie abhängig von wenigstens einem dieser Betriebsparameter auswählen.

7. Hybrid-Fahrantrieb nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Kennlinien empi-

risch ermittelte Kennlinien sind.

8. Hybrid-Fahrantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrische Maschine (7) eine Vielzahl Pole umfaßt und die Regelungsmittel (19, 49, 53-59) eine Stromstelleinrichtung (15) für Polwicklungen der elektrischen Maschine (7) steuern. 5

9. Hybrid-Fahrantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensormittel (29-37, 41; 59) wenigstens einen die momentane Winkelgeschwindigkeit des Bauteils erfassenden Drehzahl-sensor (29, 31, 33, 35) oder/und wenigstens einen das von dem Bauteil übertragene, momente Drehmoment erfassenden Drehmomentsensor (37) oder/und wenigstens einen Geräusche im Inneren des Kraftfahrzeugs 15 erfassenden Geräuschesensor (41) aufweist.

10. Hybrid-Fahrantrieb nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensormittel (29-37, 41; 51) mehrere auf unterschiedliche Schwingungsparameter oder/und Schwingungen unterschiedlicher Bauteile an- 20 sprechende Sensoren umfassen.

11. Hybrid-Fahrantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrische Maschine (7) an eine Fahrstrom liefernde Batterie (17) und zusätzlich an einen elektrischen Antriebsenergie- 25 speicher (63), insbesondere einen Kondensatorspeicher, für den im Betrieb der Regelungsmittel (19, 49, 53-59) bei der Schwingungsdämpfung an die elektrische Maschine (7) zu liefernden oder/und von dieser rückzuspeisenden, höherfrequenten, elektrischen Strom, angeschlossen ist.

12. Hybrid-Fahrantrieb nach einem der Ansprüche 2 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehmoment-übertragungsweg eine steuerbare Kupplung, insbesondere eine von einem Stellantrieb (3) einstellbare Reibungskupplung (5), enthält, die abhängig von Spektralanteilen des Schwingungs-Istssignals mit Frequenzen unterhalb der vorbestimmten Frequenzgrenze auf einen diese Spektralanteile der Schwingungen mindernden oder eliminierenden Schlupf einstellbar ist. 35 40

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

**- Leerseite -**

Fig.1

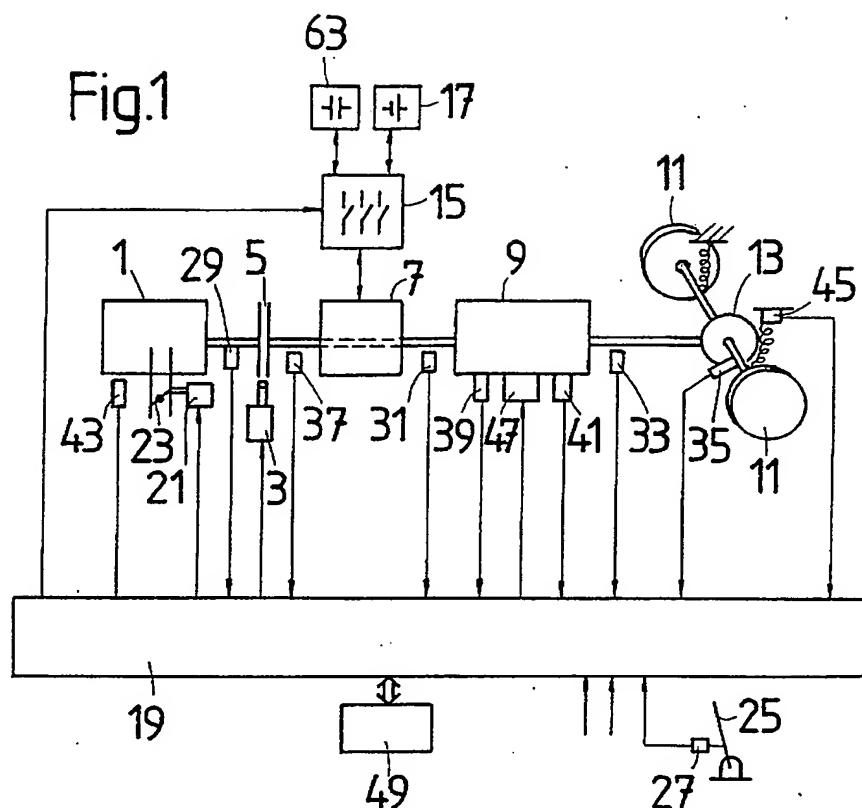


Fig. 2

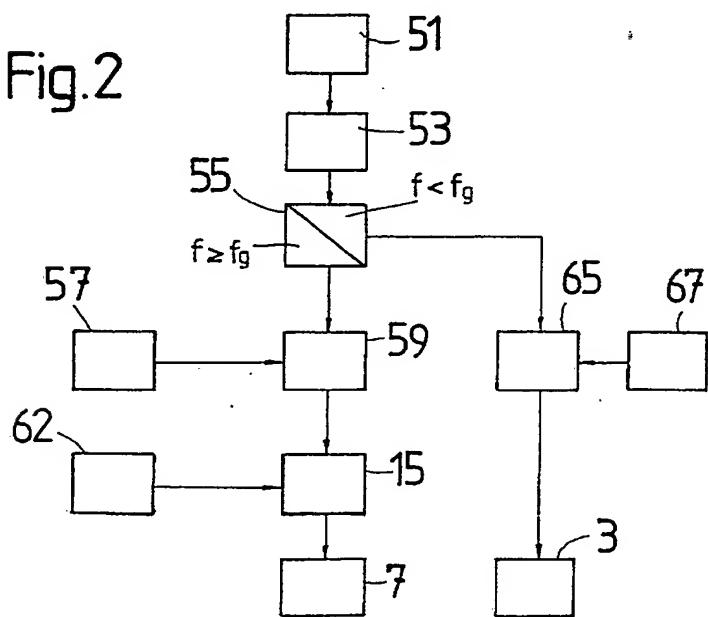


Fig.3a

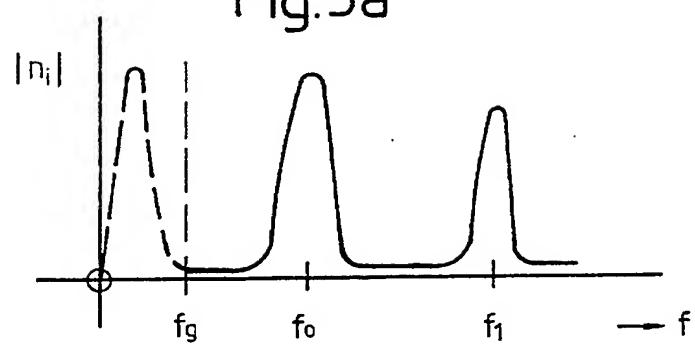


Fig.3b

